



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 101 28 135 A 1**

⑤1 Int. Cl.7:  
H 01 L 43/08

②1 Aktenzeichen: 101 28 135.8  
②2 Anmeldetag: 9. 6. 2001  
④3 Offenlegungstag: 19. 12. 2002

DE 101 28 135 A 1

⑦1 Anmelder:  
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

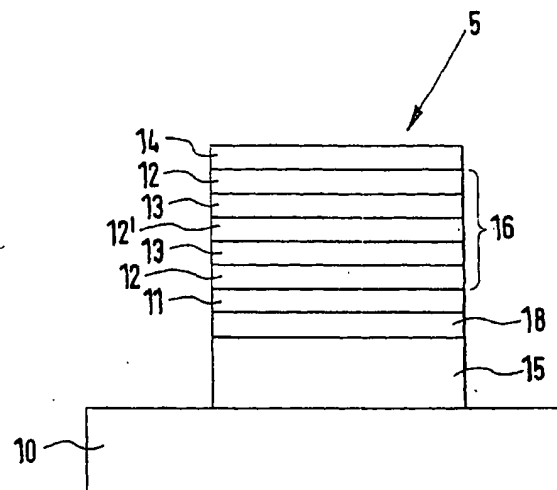
⑦2 Erfinder:  
Schmollngruber, Peter, 71134 Aidlingen, DE; Siegle,  
Henrik, Dr., 71229 Leonberg, DE

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 **Magnetoresistive Schichtanordnung und Gradiometer mit einer derartigen Schichtanordnung**

⑤7 Es wird eine magnetoresistive Schichtanordnung (5) mit einer Schichtfolge (16) mit mindestens zwei magnetischen Schichten (12, 12') vorgeschlagen, zwischen denen sich eine nichtmagnetische, elektrisch leitfähige Zwischenschicht (13) befindet, wobei der elektrische Widerstand der Schichtanordnung (5) in Abhängigkeit von einem externen, auf die Schichtanordnung (5) einwirkenden Magnetfeld veränderbar ist. Weiter ist zumindest bereichsweise mindestens eine hartmagnetische Schicht (15) in die Schichtanordnung (5) integriert, die zumindest einen Bereich einer Grenzfläche zwischen der magnetischen Schicht (12, 12') und der Zwischenschicht mit einem Magnetfeld beaufschlagt. Die vorgeschlagene magnetoresistive Schichtanordnung (5) eignet sich insbesondere zum Einsatz in einem GMR-Sensorelement mit gekoppelten Multilagen oder einem AMR-Sensorelement mit einer Barber-Pole-Struktur. Daneben wird auch ein Gradiometer (30) mit einer Mehrzahl von derartigen Schichtanordnungen (5) vorgeschlagen.



DE 101 28 135 A 1

## Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine magnetoresistive Schichtanordnung, insbesondere zur Verwendung in einem GMR-Sensorelement, einem AMR-Sensorelement oder einem Gradiometer, sowie ein Gradiometer mit dieser Schichtanordnung nach der Gattung der unabhängigen Ansprüche.

## Stand der Technik

[0002] Magnetsensoren finden breiten Einsatz in Kraftfahrzeugen, beispielsweise als Drehzahlfühler am Rad, als Drehzahl- bzw. Phasengeber für die Motorsteuerung oder als Lenkwinkelsensor für Fahrdynamikregelsysteme. Dabei machen die steigenden Anforderungen nach größeren Arbeitsabständen, d. h. entsprechend größeren Luftspalten, und größeren Messbereichen, d. h. größeren abzudeckenden Winkel- bzw. Magnetfeldbereichen, immer robustere Sensoren erforderlich.

[0003] Die GMR-Technologie ("Giant Magneto Resistance") und auch die AMR-Technologie ("Anisotropic Magneto Resistance") erlaubt es, Sensorelemente herzustellen, die diesen Anforderungen gerecht werden. So sind zum Einsatz in Kraftfahrzeugen insbesondere gekoppelte Multilagen-Schichtsysteme und sogenannte Spin-Valve-Schichtsysteme mit einem GMR-Effekt oder auch AMR-Sensorelemente mit einer sogenannten "Barber-Pole-Struktur" relevant.

[0004] Gekoppelte Multilagen-Schichtsysteme, wie sie beispielsweise aus G. Binasch et al., Phys. Rev. B, 39 (1989), Seite 4828 ff., und M. N. Baibich et al., Phys. Rev. Letters, 61 (1988), Seite 2472 ff., bekannt sind, bestehen aus alternierenden, ultradünnen weichmagnetischen und unmagnetischen Schichten, beispielsweise alternierenden Kobalt-Schichten und Kupfer-Schichten, wobei durch die Wahl der Dicke der Kupfer-Schichten eine antiferromagnetische Kopplung zwischen den benachbarten Kobalt-Schichten einstellbar ist. Auf diese Weise richten sich die Magnetisierungsrichtungen dieser magnetischen Kobalt-Schichten ohne ein äußeres Magnetfeld antiparallel zueinander aus, so dass der elektrische Widerstand für einen in der Schichtanordnung geführten elektrischen Strom durch eine Spin-abhängige Elektronenstreuung maximal ist. Wird nun zusätzlich ein externes Magnetfeld angelegt, so richten sich die Magnetisierungen in den magnetischen Schichten weitgehend parallel zu diesem aus, wodurch der elektrische Widerstand in der Schichtanordnung deutlich sinkt. Insbesondere sind Effektgrößen von 20% bis 30% relativer Widerstandsänderung bei Raumtemperatur erreichbar.

[0005] Bei den darüber hinaus bekannten Spin-Valve-Schichtsystemen wird eine magnetisch weiche bzw. weichmagnetische Detektionsschicht durch eine nichtmagnetische Zwischenschicht von einer magnetisch härteren Schicht getrennt. Die unmagnetische Schicht ist dabei so dick ausgebildet, dass nur eine geringe magnetische Kopplung zwischen den beiden magnetischen Schichten über die nichtmagnetische Zwischenschicht erfolgt. Dadurch ist gewährleistet, dass die Richtung der Magnetisierung der weichmagnetischen Schicht schon sehr kleinen externen Magnetfeldern folgt. Weiter ist dort vorgesehen, dass die Richtung der Magnetisierung der magnetisch harten Schicht durch eine sogenannte "Pinning-Schicht" ausgerichtet und festgehalten wird. Legt man nun ein äußeres Magnetfeld an und dreht dessen Richtung, so folgt die Magnetisierung der magnetisch weichen Schicht der Richtung dieses Magnetfeldes, während die Richtung der Magnetisierung der magnetisch harten Schicht fest bleibt. Somit überträgt sich der Winkel

des externen Magnetfeldes auf den Winkel zwischen den Magnetisierungsrichtungen dieser beiden magnetischen Schichten und es resultiert ein winkelabhängiger elektrischer Widerstand in der Schichtanordnung. Die "Pinning-Schicht" ist dabei üblicherweise als Antiferromagnet oder als Kombination aus einem Antiferromagneten und einem sogenannten künstlichen Antiferromagneten ausgebildet. Einzelheiten zu derartigen Spin-Valve-Schichtsystemen sind in DE 199 49 714 A1 beschrieben.

[0006] Einen Überblick über magnetoresistive Sensorelemente, der auch AMR-Sensorelemente mit einer Barber-Pole-Struktur umfasst, gibt U. Dibern in "Sensors - A Comprehensive Survey", herausgegeben von W. Göpel et al., Band 5, Magnetic Sensors, VCH Verlag, Weinheim, 1989, Seiten 342 bis 380.

[0007] Nachteilig bei bekannten magnetoresistiven Schichtsystemen, beispielsweise in Form eines GMR-Sensorelementes mit gekoppelten Multilagen, ist deren bei Auftrag der relativen Widerstandsänderung  $\Delta R/R$  als Funktion des äußeren Magnetfeldes B bzw. H annähernd dreiecksförmige Kennlinie, die um das Nullfeld herum, d. h. bei einem schwachen externen Magnetfeld, flach verläuft, so dass solche Sensorelemente wenig sensitiv auf Änderungen eines kleinen, externen Magnetfeldes sind.

## Vorteile der Erfindung

[0008] Die erfindungsgemäße magnetoresistive Schichtanordnung hat gegenüber dem Stand der Technik den Vorteil, dass durch die darin integrierte hartmagnetische Schicht, die die Schichtanordnung zumindest bereichsweise mit einem internen Magnetfeld beaufschlagt, eine Verschiebung des Arbeitspunktes der  $\Delta R/R$ -B-Kennlinie der magnetoresistiven Schichtanordnung erreicht wird.

[0009] Daneben ist vorteilhaft, dass im Fall des Einsatzes solcher Schichtanordnungen mit gekoppelten Multilagen in einem Gradiometer, beispielsweise zur Polradabtastung, durch die integrierte hartmagnetische Schicht der Arbeitspunkt so gewählt werden kann, dass eine maximale Sensitivität des Gradiometers erreicht wird, ohne dass dazu ein externer Haltemagnet erforderlich ist.

[0010] Insbesondere wird durch die integrierte hartmagnetische Schicht ein internes Magnetfeld, ein sogenanntes "Bias-Magnetfeld", erzeugt, das als Magnetfeld-Offset wirkt, so dass auch bei einer nur schwachen Variation eines dem internen Magnetfeld überlagerten externen Magnetfeldes von beispielsweise einigen mTesla eine gut messbare und relativ große Veränderung des eigentlichen Messwertes  $\Delta R/R$ , der als Widerstandsänderung in der Schichtanordnung detektiert wird, erreichbar ist. Insbesondere wird durch das von der hartmagnetischen Schicht hervorgerufene interne Magnetfeld vermieden, dass der Arbeitspunkt der magnetoresistiven Schichtanordnung im Bereich des sogenannten Nullfeldes gemäß Fig. 2 liegt, wo diese Kennlinie bei Variation des externen Magnetfeldes B bzw. H relativ flach verläuft.

[0011] Zudem ist vorteilhaft, dass durch die zusätzlich vorgesehene hartmagnetische Schicht die Erzeugung eines Bias-Magnetfeldes über einen extern auf die magnetoresistive Schichtanordnung montierten separaten Magneten unterbleiben kann. Dies spart erhebliche Materialkosten und Montagekosten, insbesondere auch für eine Ausrichtung eines solchen externen Magneten in der Fertigung.

[0012] Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den in den Unteransprüchen genannten Maßnahmen.

[0013] So ist besonders vorteilhaft, wenn die Stärke des von der hartmagnetischen Schicht hervorgerufenen Magnet-

feldes im Bereich zwischen 1 mT bis 30 mT, insbesondere 2 mT bis 15 mT, liegt. Durch derartige Felder wird eine weitgehend optimale Verschiebung des Arbeitspunktes erreicht.

[0014] Daneben ist vorteilhaft, wenn mehrere Schichtanordnungen zu einem auf Feldinhomogenitäten sensitiven Gradiometer zusammengeschaltet sind, wobei das von der hartmagnetischen Schicht erzeugte, interne Magnetfeld in den vorzugsweise jeweils mäanderförmig strukturierten Schichtanordnungen jeweils derart dimensioniert ist, dass alle Mäanderbereiche mit einem hinsichtlich Stärke und Richtung zumindest näherungsweise gleichen Magnetfeld beaufschlagt werden.

[0015] Zur Realisierung eines Gradiometers werden, beispielsweise zur Abtastung magnetischer Polräder bei der Drehzahlfassung, mehrere erfindungsgemäße Schichtanordnungen vorteilhaft in Form einer Wheatstonebrücke zusammengeschaltet, wobei jeweils zwei der vier Widerstände der Wheatstonebrücke räumlich so angeordnet sind, dass die Differenz der Feldstärke zwischen den beiden Brückenteilen bzw. Halbbrücken maximal ist. In diesem Fall wird durch die Brückenteile nicht die lokale Feldstärke erfasst, sondern deren Differenz. Damit mit einem solchen Gradiometer dann auch schon bei kleinen Feldunterschieden große Differenzspannungen entstehen, ist es erforderlich, die einzelnen Schichtanordnungen im Bereich der steilen Flanke gemäß Fig. 2 zu betreiben.

[0016] Insbesondere ist bei einem solchen Gradiometer vorteilhaft, dass die Richtung und Stärke des in der Schichtanordnung erzeugten, internen Bias-Feldes für alle Teile der Wheatstonebrücke einheitlich wählbar ist. Somit ist man nicht darauf angewiesen, externe Magnete mit beispielsweise unterschiedlichen Koerzitivfeldstärken einzusetzen.

[0017] Besonders vorteilhaft ist weiter, wenn das erzeugte interne Magnetfeld die sensitive Schichtfolge der magnetoresistiven Schichtanordnung zumindest näherungsweise gleichmäßig beaufschlagt, so dass die magnetischen Schichten und die elektrisch leitfähigen Zwischenschichten einem weitgehend gleichen internen Magnetfeld ausgesetzt sind.

[0018] Sofern die erfindungsgemäße magnetoresistive Schichtanordnung in Form gekoppelter Multilagen ausgeführt ist, ist weiter vorteilhaft, wenn die sensitive Schichtfolge aus einer Vielzahl von übereinander angeordneten weichmagnetischen Schichten besteht, die jeweils voneinander über eine Zwischenschicht getrennt sind. Auf diese Weise wird das insgesamt erhältliche Sensorsignal durch Addition der Signale der einzelnen Zwischenschichten erheblich vergrößert.

[0019] Hinsichtlich der Anordnung der in die Schichtanordnung integrierten hartmagnetischen Schicht bestehen vorteilhaft eine Vielzahl von Möglichkeiten, die je nach Einzelfall an die konkreten Erfordernisse angepasst werden können. Besonders vorteilhaft ist, wenn die hartmagnetische Schicht auf der sensitiven Schichtfolge und/oder unter der sensitiven Schichtfolge und/oder zumindest bereichsweise lateral einseitig oder beidseitig neben der sensitiven Schichtfolge angeordnet ist. Diese Anordnungen der hartmagnetischen Schicht lassen sich besonders leicht in den Fertigungsprozess integrieren und erlauben eine einfache und zuverlässige Herstellung der hartmagnetischen Schicht.

[0020] Im Übrigen ist vorteilhaft, dass durch die Integration der hartmagnetischen Schicht in die Schichtanordnung diese nun auch eine weitgehend beliebige Strukturierung aufweisen kann. Damit wird es möglich, die integrierte hartmagnetische Schicht lediglich bereichsweise auf, unter oder neben der eigentlich sensitiven Schichtfolge anzuordnen, so dass durch die spezielle geometrische Formgebung der als Dünnschicht-Bias-Magnet dienenden hartmagnetischen

Schicht neue Funktionalitäten der erfindungsgemäßen magnetoresistiven Schichtanordnung realisierbar sind. Insbesondere lassen sich auf diese Weise bei Positionssensoren Nichtlinearitäten ausgleichen.

[0021] Weiter ist vorteilhaft, dass die erfindungsgemäß vorgesehene Verschiebung des Arbeitspunktes einer magnetoresistiven Schichtanordnung durch Integration einer als Dünnschicht-Bias-Magnet dienenden hartmagnetischen Schicht auch bei AMR-Sensorelementen einsetzbar ist, die auf sogenannten Barber-Pole-Strukturen basieren. Auch dort kann nun ein externer, der Stabilisierung dienender Haltemagnet durch eine in eine entsprechende Schichtanordnung integrierte hartmagnetische Schicht ersetzt werden.

[0022] Hinsichtlich des Materials für die integrierte hartmagnetische Schicht eignen sich prinzipiell alle in Dünnschichttechnik abscheidbaren hartmagnetischen Materialien wie beispielsweise SmCo, NdFeB, CoPt oder CoCr. Die Koerzitivität der hartmagnetischen Schicht ist vorteilhaft so gewählt, dass ein Einprägen der Magnetisierungsrichtung der hartmagnetischen Schicht bei deren Abscheidung einerseits fertigungstechnisch noch leicht möglich ist, beispielsweise indem beim Abscheiden ein entsprechendes Magnetfeld angelegt wird, dass andererseits aber bei einem Einsatz der erfindungsgemäßen magnetoresistiven Schichtanordnung im Kleinfeldbereich unter 100 mT auch keine irreversiblen Änderungen durch ein externes Magnetfeld bzw. Geberfeld oder durch sonstige Störfelder auftreten.

#### Zeichnungen

[0023] Die Erfindung wird anhand der Zeichnungen und in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigt Fig. 1 schematisch ein magnetoresistives Schichtsystem für ein GMR-Sensorelement mit gekoppelten Multilagen, wie es aus dem Stand der Technik bekannt ist, Fig. 2 eine Prinzipskizze einer Kennlinie eines solchen Schichtsystems, die Fig. 3a, 3b und 3c jeweils ein Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen magnetoresistiven Schichtsystems, Fig. 4 eine Prinzipskizze einer Kennlinie eines Schichtsystems gemäß Fig. 3a, 3b oder 3c, und Fig. 5 eine weiteres Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen magnetoresistiven Schichtsystems. Die Fig. 6 zeigt eine Prinzipskizze eines Gradiometers mit vier in Form einer Wheatstonebrücke verschalteten magnetoresistiven Schichtsystemen, Fig. 7 eine Draufsicht auf entsprechend strukturierte Schichtanordnungen auf einem Substrat und Fig. 8 eine Weiterführung von Fig. 7 mit mäanderförmig strukturierten, zu einem Gradiometer zusammengefassten Schichtanordnungen.

#### Ausführungsbeispiele

[0024] Ein erstes Ausführungsbeispiel der Erfindung geht, wie in Fig. 1 dargestellt, zunächst von einem prinzipiell bekannten magnetoresistiven Schichtsystem auf der Basis von gekoppelten Multilagen aus, das unter dem Einfluss eines externen Magnetfeldes  $B$  bzw.  $H$  einen GMR-Effekt aufweist, und das daher beispielsweise zur Verwendung in einem GMR-Sensorelement geeignet ist.

[0025] Im Einzelnen weist dieses magnetoresistive Schichtsystem ein Substrat 10 aus Siliziumdioxid oder Silizium auf, auf dem eine Pufferschicht oder Anpassschicht 11 ("Pufferschicht"), beispielsweise aus Eisen oder NiFe, vorgesehen ist. Auf der Pufferschicht 11 befindet sich eine dünne erste weichmagnetische Schicht 12, die aus einer Legierung von Eisen und Kobalt, beispielsweise 80 Atom% bis 95 Atom% Kobalt und 20 Atom% bis 5 Atom% Eisen, aus Kobalt oder aus einer Legierung von Nickel und Eisen oder Nickel und Kobalt besteht. Die Dicke der ersten weichma-

netischen Schicht 12 liegt im Bereich von ca. 0,5 nm bis ca. 3 nm.

[0026] Unter einer weichmagnetischen Schicht wird eine Schicht aus einem ferromagnetischen Material verstanden, bei der die Richtung der Magnetisierung in der Schicht durch ein externes Magnetfeld beeinflussbar ist. Insbesondere richtet sich die Magnetisierung in einer weichmagnetischen Schicht möglichst leicht und möglichst weitgehend parallel zu der Richtung des externen Magnetfeldes aus. Demgegenüber wird unter einer hartmagnetischen Schicht eine Schicht aus einem ferromagnetischen Material verstanden, bei der die Richtung der Magnetisierung und insbesondere auch deren Stärke von einem externen Magnetfeld, abgesehen von extrem starken externen Feldern, möglichst unbeeinflusst bleibt.

[0027] Auf der ersten weichmagnetischen Schicht 12 befindet sich weiter als nichtmagnetische, elektrisch leitfähige Zwischenschicht 13 eine Kupferschicht. Ihre Dicke beträgt 1 nm bis 4 nm, insbesondere 2 nm bis 2,5 nm. Alternativ kann die Zwischenschicht 13 auch aus einer Legierung von Kupfer, Silber und Gold, beispielsweise aus 80 Atom% bis 90 Atom% Kupfer, 5 Atom% bis 15 Atom% Silber und 2 Atom% bis 8 Atom% Gold, bestehen.

[0028] Auf der Zwischenschicht 13 ist weiter eine zweite weichmagnetische Schicht 12' aufgebracht, die entsprechend der ersten weichmagnetischen Schicht 12 ausgebildet ist. Die beiden magnetischen Schichten 12, 12' und die dazwischen befindliche, unmittelbar benachbarte Zwischenschicht 13 bilden somit eine Schichtfolge 16, die bevorzugt zum Schutz vor Korrosion oder Umwelteinflüssen auf der Oberseite von einer Deckschicht 14, beispielsweise aus Tantal, bedeckt ist. Die dargestellte Pufferschicht 11 und/oder die Deckschicht 14 können im Übrigen auch entfallen.

[0029] Weiter ist bevorzugt, abweichend von der vereinfachten Darstellung gemäß Fig. 1 bzw. den Fig. 3a bis 3c, vorgesehen, dass die Schichtfolge 16 eine Vielzahl von übereinander angeordneten Stapeln aus der ersten magnetischen Schicht 12, der Zwischenschicht 13 und der zweiten magnetischen Schicht 12' aufweist. Dies wird beispielhaft mit Hilfe der Fig. 5 erläutert.

[0030] Die Dicke der Zwischenschicht 13 ist so gewählt, dass die beiden weichmagnetischen Schichten 12, 12' in Abwesenheit eines externen Magnetfeldes über die Zwischenschicht 13 antiferromagnetisch koppeln, d. h. ihre jeweiligen Magnetisierungen richten sich in Abwesenheit eines externen Magnetfeldes antiparallel zueinander aus.

[0031] Die Fig. 2 zeigt eine Prinzipskizze der Kennlinie des magnetoresistiven Schichtsystems gemäß Fig. 1, wobei die Änderung des elektrischen Widerstandes in der Schichtfolge 16 bezogen auf den minimalen elektrischen Widerstand bei großem Magnetfeld, d. h. der Wert  $\Delta R/R$ , als Funktion eines externen Magnetfeldes (B) aufgetragen ist. Das externe Magnetfeld hat dabei im ersten Quadranten der Kennlinie gemäß Fig. 2 eine definierte, feste Richtung, während die Kennlinie im 4. Quadranten gemäß Fig. 2 einem analogen, jedoch entgegengesetzt gerichteten externen Magnetfeld entspricht.

[0032] Aus Fig. 2 ist ersichtlich, dass bei einer beispielsweise periodischen Variation des externen Magnetfeldes B um das Nullfeld herum, d. h. im Fall eines schwachen externen Magnetfeldes von unter 5 mTesla, der Wert von  $\Delta R/R$ , d. h. die Antwort des Sensorelementes, aufgrund des flachen Verlaufes der Kennlinie nur wenig schwankt.

[0033] Die Fig. 3a zeigt als erstes Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen resistiven Schichtanordnung eine Schichtanordnung 5, die zunächst analog der Fig. 1 aufgebaut ist, bei der aber zwischen der Pufferschicht 11 und der ersten weichmagnetischen Schicht 12 zusätzlich eine hart-

magnetische Schicht 15 vorgesehen ist. Diese hartmagnetische Schicht 15 besteht beispielsweise aus einer SmCo-Legierung, einer NdFeB-Legierung, einer CoPt-Legierung, einer CoCr-Legierung, oder aus einem anderen, in Dünnschichttechnik abscheidbaren hartmagnetischen Material. Bei der Erzeugung der hartmagnetischen Schicht 15 wurde weiter ein Magnetfeld angelegt, so dass die hartmagnetische Schicht 15 eine Magnetisierung aufweist, die hinsichtlich Stärke und Richtung vorgegeben und zeitlich zumindest weitgehend konstant ist. Weiter ist die Magnetisierung der hartmagnetischen Schicht 15 auch von einem externen Magnetfeld, dem die magnetoresistive Schichtanordnung 5 bei Betrieb beispielsweise in einem Sensorelement ausgesetzt ist, hinsichtlich Richtung und Stärke zumindest weitgehend unbeeinflusst. Insofern bildet die hartmagnetische Schicht 15 einen in die magnetoresistive Schichtanordnung 5 integrierten Dünnschicht-Bias-Magneten. Die Dicke der hartmagnetischen Schicht 15 beträgt beispielsweise 30 nm bis 500 nm, beispielsweise etwa 150 nm.

[0034] Die Fig. 3b erläutert ein zweites Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen magnetoresistiven Schichtanordnung 5, bei der die hartmagnetische Schicht 15 im Gegensatz zu Fig. 3a auf der Schichtfolge 16 bzw. auf der zweiten weichmagnetischen Schicht 12' zwischen dieser und der Deckschicht 14 angeordnet ist. Ansonsten ist die hartmagnetische Schicht 15 gemäß Fig. 3b analog der hartmagnetischen Schicht 15 gemäß Fig. 3a.

[0035] Die Fig. 3c erläutert ein drittes Ausführungsbeispiel der Erfindung, wobei die hartmagnetische Schicht 15 lateral beidseitig neben der Schichtfolge 16 aus den magnetischen Schichten 12, 12' und der Zwischenschicht 13 angeordnet ist.

[0036] Die Fig. 5 zeigt schließlich eine Schichtfolge 16 aus mehreren, vorzugsweise einer Vielzahl von übereinander angeordneten Stapeln aus der ersten magnetischen Schicht 12, der Zwischenschicht 13 und der zweiten magnetischen Schicht 12'. Daneben ist in Fig. 5 die hartmagnetische Schicht 15 unmittelbar auf dem Substrat 10 angeordnet, und von der Schichtfolge 16 zunächst über eine Isolationschicht 18 und einer auf dieser erzeugten Pufferschicht 11 getrennt.

[0037] Die Fig. 4 erläutert, wie durch die in die Schichtanordnung 5 integrierte hartmagnetische Schicht 15 in Form eines Dünnschicht-Bias-Magneten eine Verschiebung des Arbeitspunktes 17 in der Kennlinie der magnetoresistiven Schichtanordnung 5 erreicht wird. Man erkennt deutlich im Vergleich zu Fig. 2, dass durch das von der hartmagnetischen Schicht 15 erzeugte interne Magnetfeld, das zwischen 1 mTesla und 30 mTesla, insbesondere 2 mTesla bis 15 mTesla, liegt, eine Verschiebung des Arbeitspunktes 17 aus dem Bereich des Nullfeldes erreicht wird. Insbesondere liegt der Arbeitspunkt 17 gemäß Fig. 4 nun in der steilen Flanke der Kennlinie, so dass nunmehr auch geringe Veränderungen eines von Außen angelegten Magnetfeldes eine deutlich stärkere Veränderung der Größe  $\Delta R/R$  bewirken, die letztlich das eigentliche Sensorsignal bildet.

[0038] Die Fig. 6 zeigt als Prinzipskizze die Zusammenschaltung von mehreren Schichtanordnungen 5 gemäß den Fig. 3a, 3b, 3c oder 5 über eine bekannte Wheatstonebrücke zu einem Gradiometer 30, wobei die Stärke und Richtung des in den Schichtanordnungen 5 durch die hartmagnetische Schicht 16 erzeugten internen Magnetfeldes  $H_{\text{Bias}}$  jeweils gleich ist. Damit ist die Differenz der Feldstärke eines externen Magnetfeldes zwischen den beiden Halbbrücken 19, 20 der Wheatstonebrücke erfassbar.

[0039] Ein solches Gradiometer 30 wird durch Fig. 7 näher erläutert, die vier Schichtanordnungen 5 gemäß Fig. 5 in Draufsicht auf einem Substrat zeigt, wobei diese paarweise

zu benachbarten Streifen strukturiert sind. Auch in diesem Fall sind die Stärken und Richtungen der internen Magnetfelder H<sub>int</sub> jeweils gleich. Die einzelnen Schichtanordnungen 5 in Fig. 7 sind zudem analog Fig. 6 mittels nicht dargestellter Leiterbahnen in Form einer Wheatstonebrücke verschaltet.

[0040] Die Fig. 8 zeigt in Weiterführung von Fig. 7 ein Gradiometer 30, wobei die einzelnen Schichtanordnungen 5 in Draufsicht jeweils mäanderförmig strukturiert und paarweise benachbart angeordnet sind. Auf diese Weise bilden sich zwei Halbbrücken 19, 20, die über nicht dargestellte Leiterbahnen zu einer Wheatstonebrücke verschaltet sind.

#### Patentansprüche

1. Magnetoresistive Schichtanordnung, insbesondere zur Verwendung in einem GMR-Sensorelement, einem AMR-Sensorelement oder einem Gradiometer (30), mit einer Schichtfolge (16) mit mindestens zwei magnetischen Schichten (12, 12') zwischen denen sich eine nichtmagnetische, elektrisch leitfähige Zwischenschicht (13) befindet, wobei der elektrische Widerstand der Schichtanordnung (5) in Abhängigkeit einem externen, auf die Schichtanordnung (5) einwirkenden Magnetfeld veränderbar ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest bereichsweise mindestens eine hartmagnetische Schicht (15) in die Schichtanordnung (5) integriert ist, die zumindest einen Bereich einer Grenzfläche zwischen der magnetischen Schicht (12, 12') und der Zwischenschicht mit einem Magnetfeld beaufschlagt.
2. Magnetoresistive Schichtanordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das von der hartmagnetischen Schicht (15) hervorgerufene, interne Magnetfeld hinsichtlich Stärke und Richtung zeitlich zumindest weitgehend konstant ist, und insbesondere von dem externen Magnetfeld zumindest weitgehend unbeeinflusst bleibt.
3. Magnetoresistive Schichtanordnung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass das von der hartmagnetischen Schicht (15) hervorgerufene, interne Magnetfeld eine beim Erzeugen der hartmagnetischen Schicht (15) eingestellte Richtung und Stärke aufweist.
4. Magnetoresistive Schichtanordnung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Stärke des von der hartmagnetischen Schicht (13) hervorgerufenen, internen Magnetfeldes im Bereich der Grenzfläche zwischen 1 mTesla und 30 mTesla, insbesondere 2 mTesla bis 15 mTesla, beträgt.
5. Magnetoresistive Schichtanordnung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die hartmagnetische Schicht (13) derart in die Schichtanordnung (5) integriert und das von ihr hervorgerufene, interne Magnetfeld derart dimensioniert ist, dass es sich zumindest bereichsweise über die Schichtfolge (16) erstreckt und diese insbesondere näherungsweise gleichmäßig beaufschlagt.
6. Magnetoresistive Schichtanordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die hartmagnetische Schicht (15) aus SmCo, NdFeB, CoPt, CoCr oder einem anderen in Dünnschichttechnik abscheidbaren hartmagnetischen Material besteht.
7. Magnetoresistive Schichtanordnung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine Schichtfolge (16) mit einer Vielzahl von übereinander angeordneten weichmagnetischen Schichten (12, 12'), die jeweils voneinander zumindest bereichsweise über eine Zwischenschicht (13) getrennt

sind, vorgesehen ist.

8. Magnetoresistive Schichtanordnung nach Anspruch 1 oder 7, dadurch gekennzeichnet, dass die hartmagnetische Schicht (15) zumindest bereichsweise auf der Schichtfolge (16) und/oder zumindest bereichsweise unter der Schichtfolge (16) und/oder zumindest bereichsweise lateral einseitig oder beidseitig neben der Schichtfolge (16) angeordnet ist.

9. Magnetoresistive Schichtanordnung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die hartmagnetische Schicht (15) von der Schichtfolge (16) über eine Trennschicht, insbesondere eine elektrisch isolierende Trennschicht, getrennt ist.

10. Magnetisch sensitive Schichtanordnung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die hartmagnetische Schicht (15) eine Strukturierung aufweist, und dass sie insbesondere lediglich bereichsweise auf und/oder unter der Schichtfolge (16) angeordnet ist.

11. Magnetisch sensitive Schichtanordnung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eine der magnetischen Schichten (12, 12') Fe, Co oder Ni enthält und/oder aus NiFe, CoFe, NiCo oder Co besteht.

12. Gradiometer mit einer Mehrzahl von Schichtanordnungen (5) nach einem der vorangehenden Ansprüche.

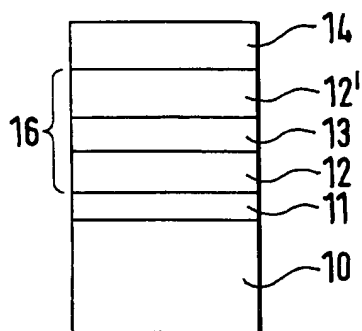
13. Gradiometer nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass das von der integrierten hartmagnetischen Schicht (15) in den verschiedenen Schichtanordnungen (5) erzeugte Magnetfeld hinsichtlich Stärke und Richtung jeweils zumindest näherungsweise gleich ist.

14. Gradiometer nach Anspruch 12 oder 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Schichtanordnungen (5) zu einer Wheatstonebrücke verschaltet sind.

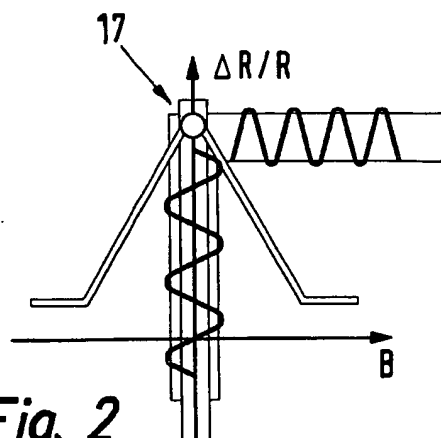
---

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

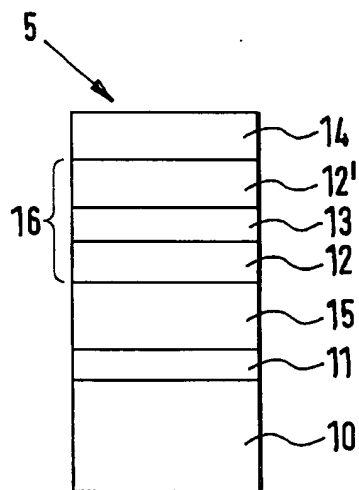
---



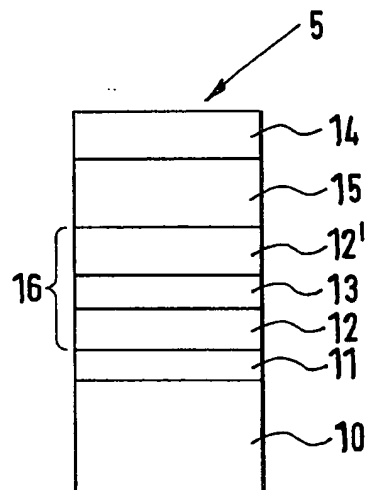
**Fig. 1**



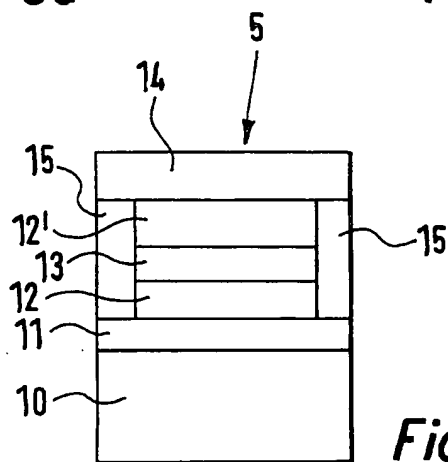
**Fig. 2**



**Fig. 3a**



**Fig. 3b**



**Fig. 3c**

